

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-113846
(P2003-113846A)

(43) 公開日 平成15年4月18日 (2003.4.18)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト* (参考)
F 1 6 C 33/66		F 1 6 C 33/66	Z 3 J 1 0 1
33/58		33/58	
35/12		35/12	

審査請求 有 請求項の数22 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2002-200172(P2002-200172)
(22) 出願日 平成14年7月9日(2002.7.9)
(31) 優先権主張番号 特願2001-233706(P2001-233706)
(32) 優先日 平成13年8月1日(2001.8.1)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004204
日本精工株式会社
東京都品川区大崎1丁目6番3号
(72) 発明者 安積 三郎
神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号
日本精工株式会社内
(72) 発明者 森田 康司
神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号
日本精工株式会社内
(74) 代理人 100105647
弁理士 小栗 昌平 (外4名)

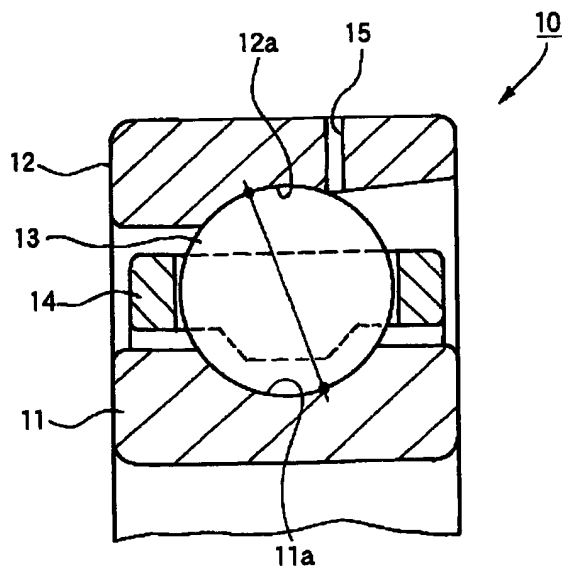
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 転がり軸受及び工作機械用主軸装置

(57) 【要約】

【課題】 環境面、コスト面に有利で、高速回転性及び高寿命を達成できる転がり軸受を提供する。

【解決手段】 グリース潤滑されている転がり軸受10であって、外輪12に補給孔15が設けられ、補給孔15を介して、一回の補給量が軸受空間容積の0.1~4%となるようにグリースを補給される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 グリース潤滑されている転がり軸受であって、外輪に補給孔が設けられ、該補給孔を介して、一回の補給量が軸受空間容積の0.1～4%となるようにグリースが補給されることを特徴とする転がり軸受。

【請求項2】 転動体が円筒ころである請求項1に記載の転がり軸受。

【請求項3】 接触角を有し、転動体が玉であって、前記外輪の内径面の、外輪軌道の接触部からずれた箇所に前記補給孔が開口している請求項1に記載の転がり軸受。

【請求項4】 工作機械の主軸を支持するのに用いられる請求項1～3のいずれかに記載の転がり軸受。

【請求項5】 前記補給孔の直径が、0.1～5mmの範囲内である請求項1～4のいずれかに記載の転がり軸受。

【請求項6】 dmNが100万以上となる環境で使用される請求項1～5のいずれかに記載の転がり軸受。

【請求項7】 グリース潤滑されている転がり軸受であって、

内周面に外輪軌道を有する外輪と、外周面に内輪軌道を有する内輪と、前記外輪軌道と前記内輪軌道との間に転動自在に設けられた転動体とを有し、

前記転がり軸受内に追加グリースを補給するグリース補給要素を有し、前記追加グリースの一回の補給量は、軸受空間容積の0.1～4%となるように補給されることを特徴とする転がり軸受。

【請求項8】 前記グリース補給要素は、前記外輪に設けられた補給孔である請求項7記載の転がり軸受。

【請求項9】 前記補給孔は、径方向に設けられている請求項8記載の転がり軸受。

【請求項10】 前記補給孔は、軸方向に設けられている請求項8記載の転がり軸受。

【請求項11】 さらに外輪間座を有し、前記グリース補給要素は、前記外輪間座に設けられた補給孔であることを請求項7記載の転がり軸受。

【請求項12】 前記転動体が円筒ころである請求項7～11の何れか記載の転がり軸受。

【請求項13】 接触角を有し、前記転動体が玉であって、前記外輪の内径面の外輪軌道の接触部からずれた箇所に前記補給孔が開口している請求項7～11の何れか記載の転がり軸受。

【請求項14】 工作機械の主軸を支持するのに用いられる請求項7～13の何れか記載の転がり軸受。

【請求項15】 前記補給孔の直径が、0.1～5mmの範囲内である請求項7～14の何れか記載の転がり軸受。

【請求項16】 dmNが100万以上となる環境で使用される請求項7～15の何れか記載の転がり軸受。

【請求項17】 主軸を支持する転がり軸受がハウジン

グ内に装着された工作機械用主軸装置であって、

前記転がり軸受は、グリース潤滑され、

前記転がり軸受は、内周面に外輪軌道を有する外輪と、外周面に内輪軌道を有する内輪と、前記外輪軌道と前記内輪軌道との間に転動自在に設けられた転動体とを有し、

前記転がり軸受内に追加グリースを補給するグリース補給要素を有し、

前記追加グリースの一回の補給量は、軸受空間容積の0.1～4%となるように補給されることを特徴とする工作機械用主軸装置。

【請求項18】 前記グリース補給要素は、前記外輪に設けられた補給孔である請求項17記載の工作機械用主軸装置。

【請求項19】 前記外輪の補給孔は、径方向に設けられている請求項18記載の工作機械用主軸装置。

【請求項20】 前記外輪の補給孔は、軸方向に設けられている請求項18記載の工作機械用主軸装置。

【請求項21】 さらに外輪間座を有し、前記グリース補給要素は、外輪間座に設けられた補給孔である請求項17記載の工作機械用主軸装置。

【請求項22】 前記グリース補給要素は、ハウジングに設けられた補給孔である請求項17記載の工作機械用主軸装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、高速回転する工作機械の主軸等に用いられる転がり軸受に関する。

【0002】

【従来の技術】 工作機械主軸用の軸受には、工作精度向上のため、振動、音響等の特性が良好であることが求められる。また、工作機械主軸用の軸受には、取り扱いやすく環境面やコスト面で有利な、グリース潤滑を採用し、かつ、高速回転性、高寿命を達成することが求められている。

【0003】 工作機械主軸に用いられるグリース潤滑の転がり軸受は、発熱しないように、初期に封入したグリースのみで潤滑されるのが普通である。グリースを封入した初期段階で、グリースの慣らし運転を行わずに高速回転させると、グリースの噛み込みや攪拌抵抗により異常発熱を起こすため、数時間をかけて慣らし運転を行ってグリースを最適な状態にしている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 近年、工作機械主軸の高速化が益々進み、主軸を支持する軸受はdmN（＝（軸受内径＋軸受外径）÷2×回転速度（rpm））100万以上という環境で使用されることが珍しくなくなっている。ところで、オイルエアやオイルミスト等の油潤滑のものと比較すると、グリース潤滑の転がり軸受は高速回転における寿命が短い傾向がある。グリース潤滑

の場合、軸受の転がり疲れ寿命よりも前に、グリース劣化により軸受が焼付いてしまう。回転数が著しく高い場合、短時間でグリースが劣化し、早期に焼付が発生する。

【0005】例えば、実開平1-67331号公報、実開平4-132220号公報、実開平6-35659号公報、実開平6-35653号公報、実開平5-94531号公報、実開平5-94532号公報、実開平6-35655号公報、及び実開平6-35657号公報には、内輪側にグリース溜まりを設け、遠心力によりグリースを連続供給する技術が開示されている。また、実開平5-86029号公報には、エアを利用して軸受空間に封入したグリースを有効活用する技術が開示されている。しかしこれらの技術では、改善が十分でなかった。

【0006】本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、その目的は、環境面、コスト面に有利で、高速回転性及び高寿命を達成できる転がり軸受を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の目的は、下記構成により達成される。

(1) グリース潤滑されている転がり軸受であって、外輪に補給孔が設けられ、該補給孔を介して、一回の補給量が軸受空間容積の0.1~4%となるようにグリースが補給されることを特徴とする転がり軸受。

(2) 転動体が円筒ころである(1)記載の転がり軸受。

(3) 接触角を有し、転動体が玉であって、前記外輪の内径面の、外輪軌道の接触部からずれた箇所に前記補給孔が開口している(1)記載の転がり軸受。

(4) 工作機械の主軸を支持するのに用いられる

(1)~(3)の何れか記載の転がり軸受。

(5) 前記補給孔の直径が、0.1~5mmの範囲内である(1)~(4)の何れか記載の転がり軸受。

(6) dmNが100万以上となる環境で使用される(1)~(5)の何れか記載の転がり軸受。

(7) グリース潤滑されている転がり軸受であって、内周面に外輪軌道を有する外輪と、外周面に内輪軌道を有する内輪と、前記外輪軌道と前記内輪軌道との間に転動自在に設けられた転動体とを有し、前記転がり軸受内に追加グリースを補給するグリース補給要素を有し、前記追加グリースの一回の補給量は、軸受空間容積の0.1~4%となるように補給されることを特徴とする転がり軸受。

(8) 前記グリース補給要素は、前記外輪に設けられた補給孔である(7)記載の転がり軸受。

(9) 前記補給孔は、径方向に設けられている(8)記載の転がり軸受。

(10) 前記補給孔は、軸方向に設けられている

(8)記載の転がり軸受。

(11) さらに外輪間座を有し、前記グリース補給要素は、前記外輪間座に設けられた補給孔である(7)記載の転がり軸受。

(12) 前記転動体が円筒ころである(7)~(11)の何れか記載の転がり軸受。

(13) 接触角を有し、前記転動体が玉であって、前記外輪の内径面の外輪軌道の接触部からずれた箇所に前記補給孔が開口している(7)~(11)の何れか記載の転がり軸受。

(14) 工作機械の主軸を支持するのに用いられる

(7)~(11)の何れか記載の転がり軸受。

(15) 前記補給孔の直径が、0.1~5mmの範囲内である(7)~(14)の何れか記載の転がり軸受。

(16) dmNが100万以上となる環境で使用される(7)~(15)の何れか記載の転がり軸受。

(17) 主軸を支持する転がり軸受がハウジング内に装着された工作機械用主軸装置であって、前記転がり軸受は、グリース潤滑され、前記転がり軸受は、内周面に外輪軌道を有する外輪と、外周面に内輪軌道を有する内輪と、前記外輪軌道と前記内輪軌道との間に転動自在に設けられた転動体とを有し、前記転がり軸受内に追加グリースを補給するグリース補給要素を有し、前記追加グリースの一回の補給量は、軸受空間容積の0.1~4%となるように補給されることを特徴とする工作機械用主軸装置。

(18) 前記グリース要素は、前記外輪に設けられた補給孔である(17)記載の工作機械用主軸装置。

(19) 前記外輪の補給孔は、径方向に設けられている(18)記載の工作機械用主軸装置。

(20) 前記外輪の補給孔は、軸方向に設けられている(18)記載の工作機械用主軸装置。

(21) さらに外輪間座を有し、前記グリース補給要素は、外輪間座に設けられた補給孔である(17)記載の工作機械用主軸装置。

(22) 前記グリース補給要素は、ハウジングに設けられた補給孔である(17)記載の工作機械用主軸装置。

なお、軸受空間容積とは、外輪内径と内輪外径との間にできる空間から、転動体の体積及び保持器の体積を差し引いた容積を意味する。

【0008】上記構成の転がり軸受によれば、グリースが早期に劣化して軸受が破損する前に、新たなグリースを外輪側(径方向)又は外輪間座側(軸方向)から補給することにより、軸受寿命の延長が可能となる。外輪側から供給された場合、グリースは、補給孔を通して、外輪内径面から軸受空間に補給される。一方、外輪間座側から供給された場合、グリースは、補給孔を通して、直接軸受空間内に軸方向に供給される。この場合、外径よりも内径側にグリースを供給したほうが好ましい。補給されたグリースは、転動体や保持器に付着し、転動体や

保持器の回転に伴って軸受内部全体に馴染む。

【0009】通常、工作機械の主軸に組み込まれるアンギュラ玉軸受の場合、グリースの初期封入量は、軸受空間容積の10～20%を目安とされている。一方、工作機械の主軸に組み込まれる円筒ころ軸受の場合、グリースの初期封入量は、軸受空間容積の8～15%を目安とされている。これは、グリースの初期慣らし運転の時間短縮と、温度上昇の抑制という要求からきているものである。特に円筒ころ軸受の場合、グリースの初期慣らし運転時に、回転しているところがグリースを噛みこんで異常昇温することがよくある。最悪の場合、焼付を起こしてしまうこともある。上記構成のように、一回のグリース補給量を軸受空間容積の4%以下とすることで、異常昇温を回避しつつ、慣らし運転の時間を短縮できる。また、鋭意検討の結果、一回のグリース補給量が軸受空間容積の0.1%であれば、必要最低限の潤滑が行われることがわかった。

【0010】アンギュラ玉軸受のように、接触角を有し、転動体が玉である場合、外輪の内径面の、軌道溝の接触部のある側からずれた箇所に補給孔を開口させることで、運転中の損傷を防止できる。補給孔の直径が、0.1～5mmの範囲内であれば、定量のグリース補給をより円滑に行うことができる。すなわち、グリースが補給孔につまることがなく、グリースが過度に補給されることもない。なお、補給孔は円形断面のものに限定されない。例えば、直径0.1～5mmの円形断面と同等の断面積を有する矩形断面や多角形断面の補給孔であってもよい。上記転がり軸受は、 $d\text{mN}$ が100万以上となる環境でも長寿命を達成できる。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づいて本発明の実施形態を説明する。図1に示す本発明第1実施形態のアンギュラ玉軸受10は、外周面に内輪軌道11aを有する内輪11、内周面に外輪軌道12aを有する外輪12、内外輪11、12間に形成された内輪軌道11a及び外輪軌道12aに沿って複数配置された玉13及び玉13を円周方向等間隔に保持する保持器14を備えている。本実施形態は、外輪カウンタポア軸受である。本実施形態においては、外輪12のカウンタポア側（図では右側）に、外輪12を径方向に貫通する補給要素としての補給孔15が設けられている。補給孔15は、直径0.1～5mmの円形断面を有している。補給孔15は、外輪12の内径面の、外輪軌道12aに隣接する箇所に開口している。補給孔15は、外輪12の周方向に間隔をあげた複数箇所に設けられてもよい。

【0012】アンギュラ玉軸受10の軸受空間には、軸受空間容積の10～20%の量のグリースが初期封入される。そして、軸受使用時には、次のようなグリース補給方法が適用される。すなわち、適宜なタイミングで

（間欠的、定期的）に、補給孔15を介して、一回の補給量が軸受空間容積の0.1～4%となるようにグリースショットさせる。

【0013】図2に示す本発明第2実施形態のアンギュラ玉軸受20は、内輪21、外輪22、内外輪21の内輪軌道21aと外輪22の外輪軌道22aとの間に複数配置された玉23及び玉23を円周方向等間隔に保持する保持器24を備えている。本実施形態においては、外輪22のカウンタポア側（図では右側）に、外輪22を径方向に貫通する補給要素としての補給孔25が設けられている。補給孔25の外輪内径面側は、グリースだまり25aになっている。グリースだまり25aの断面積は、補給孔25の他の部分の断面積より大きい。グリースだまり25aを有しているので、補給孔25は、段付き円柱状空間になっている。グリースだまり25aは、外輪22の内径面の、外輪軌道22aに隣接する箇所に位置している。以下に説明する実施形態においても、補給孔がグリースだまりを有してもよい。

【0014】図3に示す本発明第3実施形態のアンギュラ玉軸受30は、内輪31、外輪32、内輪31の内輪軌道31aと外輪32の外輪軌道32aとの間に複数配置された玉33及び玉33を円周方向等間隔に保持する保持器34を備えている。本実施形態は、内輪カウンタポア軸受である。本実施形態においては、外輪32の外輪軌道32aの、接触部32bのある側（図では右側）の反対側に、外輪32を径方向に貫通する補給要素としての補給孔35が開口している。尚、補給孔35は、接触部32bのある側であってもよく、接触部32b以外の部分に設ければよい。

【0015】図4に示す本発明第4実施形態のアンギュラ玉軸受40は、内輪41、外輪42、内輪41の内輪軌道41aと外輪42の外輪軌道42aとの間に複数配置された玉43及び外輪案内の保持器44を備えている。本実施形態は、外輪カウンタポア軸受である。本実施形態においては、外輪42のカウンタポア側（図では右側）に、外輪42を径方向に貫通する補給要素としての補給孔45が設けられている。補給孔45は、保持器44の片側（図では右側）の案内面44aに向けて開口している。

【0016】図5に示す本発明第5実施形態のアンギュラ玉軸受50は、内輪51、外輪52、内輪51の内輪軌道51aと外輪52の外輪軌道52aとの間に複数配置された玉53及び外輪案内の保持器54を備えている。本実施形態は、外輪カウンタポア軸受である。本実施形態においては、外輪52の反カウンタポア側（図では左側）に、外輪52を径方向に貫通する補給要素としての補給孔55が設けられている。補給孔55は、保持器54の片側（図では左側）の案内面54aに向けて開口している。

【0017】図1に示した形態のアンギュラ玉軸受を用

いて、以下のような実験を行った。内径65mm、外径100mm、幅18mm、接触角18°、玉径7.144mm、使用グリースはイソフレックスNBU15、グリース初期封入量は軸受空間容積の15%（2.3cc）である、一对のアンギュラ玉軸受により、試験機の回転主軸を支持した。一对のアンギュラ玉軸受は背面組

合せとし、軸受間隔は100mmとした。

【0018】（実験1）試験機の回転主軸をいくつかの設定速度で回転させ、各設定速度における軸受耐久時間を観測した。結果を表1に示す。

【表1】

dmN (万)	内輪外径周速 (m/s)	耐久時間 (h)	状況
180	89	100	グリースが黒に変色 軌道溝が大きく磨耗
150	74	1000	グリースが黒に変色 軌道溝が大きく磨耗
120	59	10000	グリースが灰色に変色 軌道溝が大きく磨耗
100	49	50000以上	グリースが灰色に変色

グリース補給がない状態では、dmN120万で10000時間を越える耐久時間を達成できなかった。これは、グリース寿命が10000時間であったことを示している。dmN150万ではグリース寿命が1000時間であった。dmN180万ではグリース寿命が100時間であった。表1の結果をグラフ化したものを図6に示す。図6から、dmNの上昇に伴って、グリース寿命時間が指数関数的に短くなることがわかる。

【0019】（実験2）実験1のときと同様な条件で、試験機の回転主軸を一对のアンギュラ玉軸受で支持し、

適宜な慣らし運転を行った。慣らし運転後のdmN150万における外輪温度は55℃であった。なお、dmN150万におけるグリース寿命は、前述のように1000時間である。本実験では、dmN150万で1000時間運転を行った時点で、いくつかの設定補給量のグリース補給を行い、その後0からdmN150万に5秒で立ち上げて運転を再開するとともに軸受を観察することで、各設定補給量における耐久時間及び軸受の昇温を測定した。結果を表2に示す。

【表2】

グリース量 (空間容積%)	耐久 時間(h)				異常昇温
	300	500	700	900	
2	○	○	×	×	○
4	○	○	×	×	○
6	○	○	○	×	×
10	○	○	○	○	×

補給量が4%以下のときは、初期封入のグリース寿命の半分である500時間を越えると、焼付が生じた。一方、補給量が4%を超えると、グリース補給後に軸受が異常昇温（外輪が75℃以上に急上昇）した。以上の結果から、グリースの補給間隔は、初期封入のグリース寿命時間の半分以下とし、補給量は軸受空間容積の4%以下とするのが良いことがわかった。

【0020】なお、2%のグリース補給を行った後、慣らし運転をした時点で、軸受内部の接触部の脇にかき出されたグリースを採取し、量を測定したところ、2%の量の補給に対し、1.9%の量のグリースがかき出されたことがわかった。これは、転動体（玉）、内外輪の軌道溝及び保持器間に必要最低限のグリースが潤滑膜として保持され、余分なグリースがかき出されたことを示す。このことから、グリース補給量の下限は軸受空間容積の0.1%であることがわかった。

【0021】図7に示す本発明第6実施形態の複列円筒

ころ軸受60は、内輪61、外輪62、内輪61の内輪軌道61aと外輪62の外輪軌道62aとの間に2列に複数配置された円筒ころ63及び各列の円筒ころ63を円周方向等間隔に保持する保持器64を備えている。本実施形態は、工作機械の主軸支持用転がり軸受である。本実施形態においては、外輪62の軸方向中央部に、外輪62を径方向に貫通する補給要素としての補給孔65が設けられている。補給孔65は、直径0.1～5mmの円形断面を有している。補給孔65は、それぞれの保持器64の、2列の円筒ころ63の間に位置する部分に向けて開口している。本実施形態においては、外輪外径面の軸方向中央部に、補給孔65に連通する溝65bを設けて、補給孔65にグリースGをショットし易くしているが、溝65bはなくてもよい。なお、図1～5に示した転がり軸受にも、外輪外径面に溝を設けることができる。

【0022】円筒ころ軸受60の軸受空間には、軸受空

間容積の8～15%の量のグリースが初期封入される。そして、軸受使用時には、次のようなグリース補給方法が適用される。すなわち、適宜なタイミングで（間欠的、定期的に）、補給孔65を介して、一回の補給量が軸受空間容積の0.1～4%となるようにグリースGをショットさせる。保持器64に向けてショットされたグリースGは、軸受回転に伴って、内外輪の軌道面の円周上に均一に塗布される。こうして、ショットされたグリースGによる新しい油膜が形成される。慣らし運転が終わると、必要最低限のグリース以外は、転動面外側にかき出されて土手のような形状になる。その状態のグリースから微量な基油が漏れて、転動面や保持器案内面が潤滑される。

【0023】図8に示す本発明第7実施形態の複列円筒ころ軸受70は、内輪71、外輪72、内輪71の内輪軌道71aと外輪72の外輪軌道72aとの間に2列に複数配置された円筒ころ73及び各列の円筒ころ73を円周方向等間隔に保持する保持器74を備えている。本実施形態においては、外輪72に、外輪72を径方向に貫通する補給要素としての補給孔75が、軸方向に見て複数（ここでは2本）設けられている。補給孔75は、各列の円筒ころ73の転動面に向けて開口している。外輪外径面には、2列の溝75bが設けられている。

【0024】図9に示す本発明第8実施形態の単列円筒ころ軸受80は、内輪81、外輪82、内輪81の内輪軌道81aと外輪82の外輪軌道82aとの間に複数配置された円筒ころ83及び外輪案内の保持器84を備えている。本実施形態においては、外輪82に、外輪82を径方向に貫通する補給要素としての補給孔85が、軸方向に見て2本設けられている。各補給孔85は、円筒ころ83の軸方向両側に位置する、保持器84の案内面に向けて開口している。外輪外径面には、2列の溝85bが設けられている。図示しないが、片側の保持器案内面に向けて開口する、軸方向に見て1本の補給孔を設けた構成とすることもできる。

【0025】図10に示す本発明第9実施形態の単列円筒ころ軸受90は、内輪91、外輪92、内輪91の内輪軌道91aと外輪92の外輪軌道92aとの間に複数配置された円筒ころ93及び外輪案内の保持器94を備えている。本実施形態においては、外輪92の軸方向中央部に、外輪92を径方向に貫通する補給要素としての補給孔95が設けられている。補給孔95は、円筒ころ93の転動面に向けて開口している。外輪外径面の軸方向中央部には、溝95bが設けられている。

【0026】図11に示す本発明第10実施形態の単列円筒ころ軸受100は、内輪101、外輪102、内輪101の内輪軌道101aと外輪102の外輪軌道102aとの間に複数配置された円筒ころ103及び外輪案内の保持器104を備えている。本実施形態においては、外輪102に、外輪102を径方向に貫通する補給

要素としての補給孔105が、軸方向に見て2本設けられている。各補給孔105は、円筒ころ103の軸方向両端面と保持器104の案内面との間に向けて開口している。外輪外径面には、2列の溝105bが設けられている。図示しないが、軸方向に見て1本の補給孔を設けた構成とすることもできる。

【0027】図12に示す本発明第11実施形態の単列円筒ころ軸受110は、内輪111、外輪112、内輪111の内輪軌道111aと外輪112の外輪軌道112aとの間に複数配置された円筒ころ113及び外輪案内の保持器114を備えている。本実施形態においては、外輪112の軸方向中央部に、外輪112を径方向に貫通する補給要素としての補給孔115が設けられている。補給孔115は、グリースをショットするノズル120の、先端テーパ形状に対応するテーパ形状になっており、外径面側から内径面側に向かうにつれて直径が減少している。すなわち、補給孔115は、円錐台状空間になっている。補給孔115は、円筒ころ113の転動面に向けて開口している。

【0028】図10に示した形態の円筒ころ軸受を用いて、以下のような実験を行った。

（実験3）内径95mm、外径145mm、ころ径11mm、ころ長さ11mm、ころ数27個、軸受空間容積31cm³、使用グリースはイソフレックスNBU15、グリース初期封入量は軸受空間容積の10%である円筒ころ軸受を複数用意し、それぞれ慣らし運転を行った。慣らし運転後の、9000min⁻¹での外輪温度は35℃であった。その後、いくつかの設定補給量のグリース補給を行った後、0から9000min⁻¹に2秒で立ち上げて、外輪温度を測定する実験を5回（n1～n5）行った。図13（a）に示すように、1箇所の補給孔のみからグリースGを補給した場合の実験結果を表3に示す。

【表3】

補給量	n1	n2	n3	n4	n5
2%	◎	◎	◎	◎	◎
4%	◎	△	◎	○	○
6%	○	△	×	○	○
10%	×	×	×	×	△

表3中、◎は外輪温度が40℃以下であったことを示し、○は外輪温度が50℃以下であったことを示し、△は外輪温度が60℃以下であったことを示し、×は外輪温度が60℃を越えたことを示す。図13（b）に示すように、対向する2箇所（180°離れた位置）の補給孔からグリースGを補給した場合の実験結果を表4に示す。

【表4】

補給量	n1	n2	n3	n4	n5
2%	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
4%	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
6%	△	⊙	○	○	○
10%	△	x	x	○	△

図13(c)に示すように、ころところの間全てに設けられた補給孔からグリースGを補給した場合の実験結果を表5に示す。

【表5】

補給量	n1	n2	n3	n4	n5
2%	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
4%	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
6%	○	⊙	△	⊙	⊙
10%	○	△	△	x	△

【0029】表3～表5からわかるように、2%以下では、補給後の回転で異常昇温は見られなかった。4%では、補給箇所を増やすことにより異常昇温を顕著に抑えることができた。すなわち、同じ量を補給するにしても、外輪の円周方向に間隔をあけた複数箇所に設けた補給孔からグリースをショットする方が、異常昇温を抑制できることがわかった。4%を越えると、グリースの補給箇所を増やしても、温度にバラツキがでて、安定しない状態であった。

【0030】(実験4) 図10に示したような形態であって、内径70mm、外径110mm、ころ径9mm、ころ長さ9mm、ころ数20個、軸受空間容積2.4cm³、使用グリースはイソフレックスNBU15、グリース初期封入量は軸受空間容積の10%、両側案内・外輪案内の保持器の材質はPEEK(ポリエーテルエーテルケトン、炭素繊維強化グレード)である円筒ころ軸受を2個用意した。そして、両方の円筒ころ軸受を16500min⁻¹(dmN150万)で回転させ、一方の円筒ころ軸受には回転開始から48時間経過した時点で軸受空間容積の2%の量のグリース補給を行い、他方の円筒ころ軸受にはグリース補給を行わず、さらに両方の円筒ころ軸受を16500min⁻¹(dmN150万)で回転させ、耐久時間を測定した。グリース補給をした円筒ころ軸受では、目標耐久時間である1000時間を達成したが、グリース補給をしない円筒ころ軸受では、200時間しかもたなかった。

【0031】図14に示す本発明の第12実施形態の単列円筒ころ軸受120は、内輪121、二つの鋼122bを有する外輪122、内輪121の内輪軌道121aと外輪122の外輪軌道122aとの間に配置された円筒ころ123及び外輪案内の保持器124を備えている。

【0032】円筒ころ123は、外輪122の内周面である鋼122b間に形成された外輪軌道122aおよび

内輪121の外周面に形成された内輪軌道121aに沿って回転可能に配置されている。外輪軌道122aの両端部には、円筒ころ123のエッジ部123aと対向する位置に、凹部である逃げ部122cが設けられ、エッジ部123aとの干渉を避ける構造となっている。

【0033】本実施形態においては、外輪122を径方向に貫通し、外輪122の逃げ部122cの一方に連通する補給要素としての一つの補給孔125が形成されている。追加グリースは、外部から補給孔125を介して径方向に転がり軸受120の内部の逃げ部122cに補給される。補給された追加グリースは、円筒ころ123の回転に伴い、軸受内部全体に馴染み、不足したグリースを補う。これにより、グリースの欠如による軸受の破損を防止し、軸受の長寿命化が図られる。

【0034】図15に示す本発明の第13実施形態の単列円筒ころ軸受130は、内輪131、二つの鋼132bを有する外輪132、内輪131の内輪軌道131aと外輪132の外輪軌道132aとの間に配置された二つの円筒ころ133及び外輪案内の保持器134を備えている。

【0035】円筒ころ133は、外輪132の内周面である鋼132b間に形成された外輪軌道132aおよび内輪131の外周面に形成された内輪軌道131aに沿って回転可能に配置されている。外輪軌道132aの両端部には、円筒ころ133のエッジ部133aと対向する位置に、凹部である逃げ部132cが設けられ、エッジ部133aとの干渉を避ける構造となっている。

【0036】本実施形態においては、外輪132を径方向に貫通し、外輪132の逃げ部132cのそれぞれに連通する補給要素としての二つの補給孔135が形成されている。追加グリースは、外部から補給孔135を介して径方向に転がり軸受130の内部の逃げ部132cに補給される。補給された追加グリースは、円筒ころ133の回転に伴い、軸受内部全体に馴染み、不足したグリースを補う。これにより、グリースの欠如による軸受の破損を防止し、軸受の長寿命化が図られる。

【0037】図16に示す本発明の第14実施形態の複列円筒ころ軸受140は、内輪141、外輪142、内輪141の内輪軌道141aと外輪142の外輪軌道142aとの間に配置された円筒ころ143及び外輪案内の保持器144を備えている。

【0038】外輪142は、軸方向両端に形成された二つの鋼142bと内径面中央に形成された鋼142dとを有している。鋼142bと鋼142dとの間には、それぞれ二つの外輪軌道142aが形成されている。

【0039】二つの円筒ころ143は、二つの外輪軌道142aおよび内輪141の外周面に形成された内輪軌道141aに沿ってそれぞれ回転可能に配置されている。外輪軌道142aの両端部のそれぞれには、円筒ころ143のエッジ部143aと対向する位置に、凹部で

ある逃げ部142cが設けられ、エッジ部143aとの干渉を避ける構造となっている。

【0040】本実施形態においては、外輪142を径方向に貫通し、それぞれの外輪軌道142aの両端部に設けられた逃げ部142cの一方に連通する補給要素としての二つの補給孔145が設けられている。追加グリースは、外部から補給孔145を介して径方向に転がり軸受140の内部の逃げ部142cに補給される。補給された追加グリースは、円筒ころ143の回転に伴い、軸受内部全体に馴染み、不足したグリースを補う。これにより、グリースの欠如による軸受の破損を防止し、軸受の長寿命化が図られる。

【0041】図17に示す本発明の第15実施形態の複列円筒ころ軸受150は、内輪151、外輪152、内輪151の内輪軌道151aと外輪152の外輪軌道152aとの間に配置された円筒ころ153及び外輪案内の保持器154を備えている。

【0042】外輪152は、軸方向両端に形成された二つの鍔152bと内径面中央に形成された鍔152dとを有している。鍔152bと鍔152dとの間には、それぞれ二つの外輪軌道152aが形成されている。

【0043】二つの円筒ころ153は、二つの外輪軌道152aおよび内輪151の外周面に形成された内輪軌道151aに沿ってそれぞれ回転可能に配置されている。外輪軌道152a両端部のそれぞれには、円筒ころ153のエッジ部153aと対向する位置に、凹部である逃げ部152cが設けられ、エッジ部153aとの干渉を避ける構造となっている。

【0044】本実施形態においては、外輪152を径方向に貫通し、それぞれの外輪軌道152aの両端部に設けられた逃げ部152cのそれぞれに連通する補給要素としての四つの補給孔155が設けられている。追加グリースは、外部から補給孔155を介して径方向に転がり軸受150の内部の逃げ部152cに補給される。補給された追加グリースは、円筒ころ153の回転に伴い、軸受内部全体に馴染み、不足したグリースを補う。これにより、グリースの欠如による軸受の破損を防止し、軸受の長寿命化が図られる。

【0045】図18は、本発明の第1～15実施形態に記載の転がり軸受を用いて構成される工作機械用主軸装置としてのスピンドル装置を示す図である。ここでは、例として第1実施形態のアンギュラ玉軸受10及び第9実施形態の円筒ころ軸受90を用いている。なお、図18の主軸装置は、例示のために異種の軸受を用いているが、同種の軸受のみから構成するようにしてもよい。

【0046】軸受10及び90は、主軸1に外嵌し、そしてハウジング7に内嵌している。主軸1は、軸受10及び90を介して、ハウジング7に対し回転可能である。軸受10及び90の各内輪及び外輪間には、それぞれ主軸1及びハウジング7に沿って配置された内輪間座

5及び外輪間座6が配置されている。内輪間座5及び外輪間座6の軸方向両端には、それぞれ内輪押さえ部材8及び外輪押さえ部材9が配置され、各間座を介して各軸受に予圧を与えている。内輪押さえ部材8及び外輪押さえ部材9の間には、図示せぬ間隙が形成されており、両押さえ部材間にラビリンスを形成している。

【0047】ハウジング7には、ハウジング7を貫通し、各軸受10及び90の外輪に形成された補給孔に追加グリースを補給するノズル（グリース供給こま）4が固定されている。グリースは、グリース補給器2から補給パイプ3を介してノズル4に供給され、そして径方向に軸受内部に補給される。グリース補給器2は、適宜なタイミングで（間欠的、定期的）、一回の補給量が軸受空間容積の0.1～4%となるようにグリースショットする。

【0048】図18では、第1実施形態の軸受10および第9実施形態の軸受90を例として挙げたが、勿論その他の実施形態2～8または10～15の軸受、又はそれらの任意の組合せを代わりに用いてもよい。また、その他の軸受の外輪に同様の補給孔を設けても同様の効果が期待されることは言うまでもない。

【0049】図19は、以下に説明する第16、17実施形態に係る転がり軸受200及び210を用いて構成される工作機械用主軸装置としてのスピンドル装置を示す図である。なお、図19の主軸装置は、例示のために異種の軸受を用いているが、同種の軸受のみから構成するようにしてもよい。

【0050】軸受200及び210は、主軸1に外嵌し、ハウジング7に内嵌している。主軸1は、軸受200及び210を介して、ハウジング7に対し回転可能である。軸受200及び210の各内輪及び外輪間には、それぞれ主軸1及びハウジング7に沿って配置された内輪間座500a、500b、500c、500d、500e及び外輪間座600a、600b、600c、600d、600eが図視左から順に配置されている。

【0051】内輪間座500a及び500e並びに外輪間座600a及び600eの軸方向両端には、それぞれ内輪押さえ部材8a、8b及び外輪押さえ部材9a、9bが配置され、各間座を介して各軸受に予圧を与えている。内輪押さえ部材8a及び外輪押さえ部材9a並びに内輪押さえ部材8b及び外輪押さえ部材9bの間には、図示せぬ間隙が形成されており、両押さえ部材間にラビリンスを形成している。

【0052】図20は、図19に示すスピンドル装置の拡大断面図である。ここでは、本発明の第16実施形態に係るアンギュラ玉軸受200並びにその周辺構造について説明する。

【0053】図20に示す各アンギュラ玉軸受200は、内輪201、外輪202、内輪201の内輪軌道201aと外輪202の外輪軌道202aとの間に複数配

置された玉203、及び、玉203を円周方向等間隔に保持する保持器204を備えている。外輪202は、玉203を接触角を持って保持するためのテーパ部202bを軸方向片側に有している。以下、テーパ部が形成された軸方向一方を正面側、他方を背面側と呼ぶこととする。

【0054】本実施形態においては、各アンギュラ玉軸受200間には、グリース補給用外輪間座600bが配置されている。グリース補給用外輪間座600bには、ハウジング7を貫通した二つのグリース補給用ノズル4が、グリース補給用外輪間座600bに差し込み固定されている。グリース補給用ノズル4には、外部のグリース供給器2から補給パイプ3を介して追加グリースが供給される。

【0055】グリース補給用外輪間座600bは、ノズル4の先端から追加グリースをアンギュラ玉軸受200内部に補給する補給要素としての補給孔205を有している。補給孔205は、直径0.1～5mmの円形断面を有しており、軸受200の内側（保持器204よりも内径側）に向けて軸方向に開口している。補給孔205は、内輪201及び外輪202間に背面側から軸方向に追加グリースを供給する。供給されるグリースは、主に保持器204よりも内径側に供給される。

【0056】なお、補給孔205は、径方向に間隔をあけてグリース補給用外輪間座600bの複数箇所に設けられてもよい。また、供給されるグリースは、主に保持器204よりも内径側に供給されるほうが好ましいが、外径側に供給してもよい。

【0057】各アンギュラ玉軸受200の軸受空間には、軸受空間容積の10～20%の量のグリースが初期封入される。そして、軸受使用開始後、グリース供給器2は、適宜なタイミングで（間欠的、定期的に）、補給孔205を介して、一回の補給量が軸受空間容積の0.1～4%となるようにグリースショットする。軸受内部に追加補給されたグリースは、玉203の回転に伴い、軸受内部全体に馴染み、不足したグリースを補う。これにより、グリースの欠如による軸受の破損を防止し、軸受の長寿命化が図られる。

【0058】図21は、図19に示すスピンドル装置の拡大断面図であり、ここでは、本発明の第17実施形態に係る単列円筒ころ軸受210について説明する。

【0059】単列円筒ころ軸受210は、内輪211、外輪212、内輪211の内輪軌道211aと外輪212の外輪軌道212aとの間に配置された円筒ころ213、及び、ころ213を円周方向等間隔に保持する保持器214を備えている。

【0060】本実施形態においては、円筒ころ軸受200の軸方向隣には、グリース補給用外輪間座600dが配置されている。グリース補給用外輪間座600dには、ハウジング7を貫通したグリース補給用ノズル4が

グリース補給用外輪間座600dに差し込み固定されている。グリース補給用ノズル4には、外部のグリース供給器2から補給パイプ3を介して追加グリースが供給される。

【0061】グリース補給用外輪間座600dは、ノズル4の先端から追加グリースを軸受210内部に補給する補給要素としての補給孔215を有している。補給孔215は、直径0.1～5mmの円形断面を有しており、軸受210の内側（保持器214よりも内径側）に向けて軸方向に開口している。補給孔215は、内輪211及び外輪212間に背面側から軸方向に追加グリースを供給する。供給されるグリースは、主に保持器214よりも内径側に供給される。なお、補給孔215は、径方向に間隔をあけてグリース補給用外輪間座600dの複数箇所に設けられてもよい。また、供給されるグリースは、主に保持器214よりも内径側に供給されるほうが好ましいが、外径側に供給してもよい。

【0062】各アンギュラ玉軸受210の軸受空間には、軸受空間容積の10～20%の量のグリースが初期封入される。そして、軸受使用開始後、グリース供給器2は、適宜なタイミングで（間欠的、定期的に）、補給孔215を介して、一回の補給量が軸受空間容積の0.1～4%となるようにグリースショットする。軸受内部に追加補給されたグリースは、円筒ころ213の回転に伴い、軸受内部全体に馴染み、不足したグリースを補う。これにより、グリースの欠如による軸受の破損を防止し、軸受の長寿命化が図られる。

【0063】図22は、第16実施形態の第1の変形例に係るスピンドル装置の拡大断面図を示す。本変形例に用いられているアンギュラ玉軸受220は、軸に外嵌する内輪221、ハウジング1000に内嵌する外輪222、内輪221の内輪軌道221aと外輪222の外輪軌道222aとの間に回転自在に配置された玉223、並びに玉223を保持する保持器224から構成される。

【0064】ハウジング1000は、径方向内側に突出した凸部1000aを有する。軸受220の外輪222は、軸方向背面側で凸部1000aに接している。内輪221の軸方向背面側には、凸部1000aと軸方向に対向する内輪間座510aが配置されている。

【0065】一方、外輪222の軸方向正面側には、グリース補給用外輪間座610が設けられている。グリース補給用外輪間座610は、内輪間座510bと軸方向に対向している。ハウジング1000におけるグリース補給用外輪間座610の外径面に対応する位置には、グリース補給用ノズル400をグリース補給用外輪間座610に差し込むための開口1000bが形成されている。グリース補給用ノズル400の基部400aは、ねじ等の固定部材400bによりハウジング1000の外径面上に固定されており、基部400aから延出した先

端部400cがグリース補給用外輪間座610内部に差し込まれている。

【0066】グリース補給用外輪間座610は、グリース補給用ノズル400の先端部400cから追加グリースを軸受220内部に補給する補給要素としての補給孔225を有している。補給孔225は、直径0.1~5mmの円形断面を有している。補給孔225は、内輪221及び外輪222間に正面側から軸方向に追加グリースを供給する。これにより、グリースの欠如による軸受の破損を防止し、軸受の長寿命化が図られる。なお、補給孔225は、径方向に間隔をあけてグリース補給用外輪間座610の複数箇所に設けられてもよい。

【0067】図23は、第16実施形態の第2の変形例に係るスピンドル装置の拡大断面図を示す。本変形例に用いられているアンギュラ玉軸受230は、軸に外嵌する内輪231、ハウジング1100に内嵌する外輪232、内輪231の内輪軌道231aと外輪232の外輪軌道232aとの間に転動自在に配置された玉233、並びに玉233を保持する保持器234から構成される。

【0068】ハウジング1100は、径方向内側に突出した凸部1100aを有する。軸受230の外輪232は、軸方向正面側で凸部1100aに接している。内輪231の正面側には、凸部1100aに軸方向に対向する内輪間座520bが配置されている。一方、外輪222の軸方向背面側には、内輪間座520a及び外輪間座620がそれぞれに対向して配置されている。

【0069】凸部1100aの反対側となるハウジング1000の外径面には、グリース補給用ノズル400を凸部1100a内に差し込むための開口1100bが形成されている。グリース補給用ノズル400の基部400aは、ねじ等の固定部材400bによりハウジング1000の外径面上に固定されており、基部400aから延出した先端部400cが凸部1100a内部に差し込まれている。

【0070】凸部1100aは、グリース補給用ノズル400の先端部400cから追加グリースを軸受230内部に補給する補給要素としての補給孔235を有している。補給孔235は、直径0.1~5mmの円形断面を有している。補給孔235は、内輪231及び外輪232間に正面側から軸方向に追加グリースを供給する。これにより、グリースの欠如による軸受の破損を防止し、軸受の長寿命化が図られる。なお、補給孔235は、径方向に間隔をあけて凸部1100の複数箇所に設けられてもよい。

【0071】また、図24に本実施形態の第3の変形例に係るスピンドル装置の拡大断面図を示す。本変形例は、第2変形例のアンギュラ玉軸受230の正面側と背面側を入れ替えたものであり、ハウジング1100の凸部1100aがアンギュラ玉軸受230の軸方向背面側

に設けられている。その他の構成は、図23に示したものと同様である。

【0072】本変形例において、追加グリースは、凸部1100aに形成された補給孔235から、内輪231及び外輪232間に背面側から軸方向に供給される。これにより、グリースの欠如による軸受の破損を防止し、軸受の長寿命化が図られる。

【0073】図25は、第16実施形態の第4の変形例に係るスピンドル装置の拡大断面図を示す。本変形例に用いられているアンギュラ玉軸受240は、軸に外嵌する内輪241、ハウジング1200に内嵌する外輪242、内輪241の内輪軌道241aと外輪242の外輪軌道242aとの間に転動自在に配置された玉243、並びに玉243を保持する保持器244から構成される。外輪1200の正面側端部には、テーパ部から径方向内側に突出した凸部242bが形成されている。

【0074】軸受230の外輪232は、軸方向正面側で、即ち、凸部242bが、外輪間座630bと接しており、軸方向背面側で、外輪間座630aと接している。内輪231の背面側及び正面側には、それぞれ外輪間座630a及び630bと径方向に対向する内輪間座530a及び530bが配置されている。

【0075】ハウジング1200は、外輪242の凸部242bの反対側となる外径面に、グリース補給用ノズル400を凸部242b内に差し込むための開口1200bを有している。グリース補給用ノズル400の基部400aは、ねじ等の固定部材400bによりハウジング1200の外径面上に固定されており、基部400aから延出した先端部400cが、開口1200bを介して外輪242の凸部242b内部に差し込まれている。

【0076】凸部242bは、グリース補給用ノズル400の先端部400cから追加グリースを軸受240内部に補給する補給要素としての補給孔245を有している。補給孔245は、直径0.1~5mmの円形断面を有している。補給孔245は、内輪241及び外輪242間に正面側から軸方向に追加グリースを供給する。これにより、グリースの欠如による軸受の破損を防止し、軸受の長寿命化が図られる。なお、補給孔245は、径方向に間隔をあけて凸部242bの複数箇所に設けられてもよい。

【0077】また、図26に本実施形態の第5の変形例に係るスピンドル装置の拡大断面図を示す。本変形例は、第4変形例のアンギュラ玉軸受240の外輪242の変形例であり、外輪242の凸部242bが、アンギュラ玉軸受240の軸方向背面側に形成されている。その他の構成は、図25に示したものと同様である。

【0078】本変形例において、追加グリースは、凸部242bに形成された補給孔245から、内輪241及び外輪242間に背面側から軸方向に供給される。これにより、グリースの欠如による軸受の破損を防止し、軸

受の長寿命化が図られる。

【0079】上記した第16、17実施形態および第16実施形態の変形例1～5のように構成することにより、軸方向に追加グリースを軸受内部に補給することが可能となる。また、その他の軸受において、同様の補給孔を設けても同様の効果が期待されることは言うまでもない。

【0080】(実験5)次に、図27に示す回転試験装置(65ミリ・アンギュラ玉軸受用中間S/P)を用いて軸方向からグリース追加供給を行う場合の耐久試験を行った。図27において、軸1は背面組合せ(DB)のアンギュラ玉軸受250、250によりハウジング1500に対して回転可能に構成されている。

【0081】図28は、図27のアンギュラ玉軸受250及びその周辺部材を示す拡大断面図である。アンギュラ玉軸受250は、軸1に固定された内輪251、ハウジングに固定された外輪252、内輪251の内輪軌道251aと外輪252の外輪軌道252aとの転動自在に配置された転動体253、及び転動体253を保持する保持器254から構成されている。

【0082】各アンギュラ玉軸受250の正面側には、内輪間座550a及び外輪間座650aが、そして背面側には、内輪間座550及びグリース供給用外輪間座650bが、それぞれ内輪251及び外輪252に隣接配置されている。グリース供給用外輪間座650b間には、外輪間座660が配置されている。

【0083】グリース供給用外輪間座650bには、ハウジング1500を介してグリース供給用ノズル450が差込固定されている。グリース供給用ノズル450には、図示せぬグリース補給器から補給パイプ3を介してグリースが供給される。グリース供給用外輪間座650は、アンギュラ玉軸受250の正面側に開口した補給孔255($\phi 2.0$)を有している。グリース供給用ノズル450に供給されたグリースは、先端部450aから補給孔255に供給され、軸方向に軸受の軸受空間内に供給される。

【0084】実験では、内径65mm、外径100mm、幅18mm、玉径7.144mm、及び接触角18#のアンギュラ玉軸受を用いた。潤滑に用いたグリースは、イソフレックスNBU15であり、グリース初期封入量は、軸受空間容積の15%とした。両軸受250、250は、 $20,000\text{min}^{-1}$ ($\text{dmN}180\text{万}$)で回転させた。

【0085】実験では、比較のため、グリースの追加供給を行わない試験1とグリースの追加供給を行う試験2を行った。試験2では、回転開始後50時間経過する毎に、0.3cc(軸受空間容積の1.5%に相当)のグリースを補給孔255を介して軸受空間内に追加ショットした。

【0086】実験を行った結果、試験1では、実験開始

後500時間後に軸受が焼き付いてしまったため、実験を中止した。一方、試験2では、実験開始後3000時間が経過しても異常が発生することは無く、無事に実験を終了した。この実験結果から、グリースを補給した場合には、3000時間以上経過しても何ら軸受に問題は発生せず、軸受の寿命が大幅に延びることが確認された。

【0087】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、グリースが早期に劣化して軸受が破損する前に新たなグリースを補給することにより、グリース潤滑でありながら高速回転性に優れて長寿命の転がり軸受を提供できる。この転がり軸受を用いて、高い信頼性を有する工作機械用主軸装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態を示す断面図である。

【図2】本発明の第2実施形態を示す断面図である。

【図3】本発明の第3実施形態を示す断面図である。

【図4】本発明の第4実施形態を示す断面図である。

【図5】本発明の第5実施形態を示す断面図である。

【図6】本発明の第1実施形態を用いた実験結果を示すグラフである。

【図7】本発明の第6実施形態を示す断面図である。

【図8】本発明の第7実施形態を示す断面図である。

【図9】本発明の第8実施形態を示す断面図である。

【図10】本発明の第9実施形態を示す断面図である。

【図11】本発明の第10実施形態を示す断面図である。

【図12】本発明の第11実施形態を示す断面図である。

【図13】本発明の実施形態の変形例を示す側面図である。

【図14】本発明の第12実施形態を示す断面図である。

【図15】本発明の第13実施形態を示す断面図である。

【図16】本発明の第14実施形態を示す断面図である。

【図17】本発明の第15実施形態を示す断面図である。

【図18】本発明の第1～15実施形態に記載の転がり軸受を用いて構成されるスピンドル装置を示す断面図である。

【図19】本発明の第16～17実施形態に記載の転がり軸受を用いて構成されるスピンドル装置を示す断面図である。

【図20】図19に示すスピンドル装置の拡大断面図であり、本発明の第16実施形態を示す図である。

【図21】図19に示すスピンドル装置の拡大断面図であり、本発明の第17実施形態を示す図である。

【図 2 2】本発明の第 1 6 実施形態の第 1 変形例を示す断面図である。

【図 2 3】本発明の第 1 6 実施形態の第 2 変形例を示す断面図である。

【図 2 4】本発明の第 1 6 実施形態の第 3 変形例を示す断面図である。

【図 2 5】本発明の第 1 6 実施形態の第 4 変形例を示す断面図である。

【図 2 6】本発明の第 1 6 実施形態の第 5 変形例を示す断面図である。

【図 2 7】回転試験装置を示す図である。

【図 2 8】図 2 7 の回転試験装置の拡大図である。

【符号の説明】

10、20、30、40、50 アンギュラ玉軸受（転

がり軸受）

11、21、31、41、51 内輪

12、22、32、42、52 外輪

13、23、33、43、53 玉（転動体）

14、24、34、44、54 保持器

15、25、35、45、55 補給孔

60、70、80、90、100、110 円筒ころ軸受（転がり軸受）

61、71、81、91、101、111 内輪

62、72、82、92、102、112 外輪

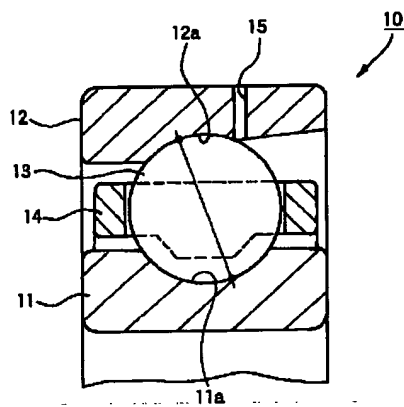
63、73、83、93、103、113 円筒ころ

（転動体）

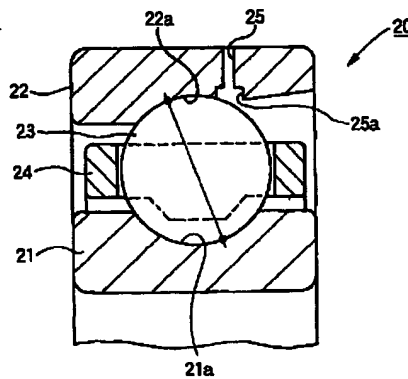
64、74、84、94、104、114 保持器

65、75、85、95、105、115 補給孔

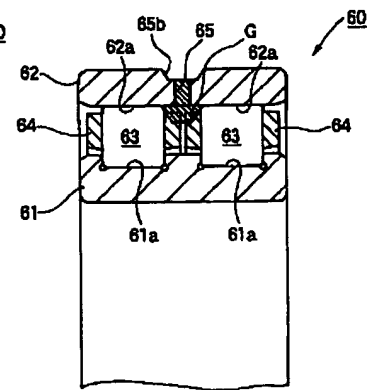
【図 1】



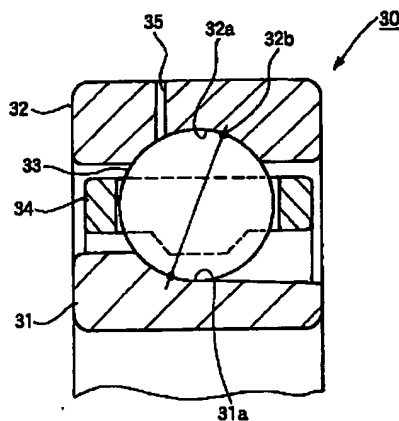
【図 2】



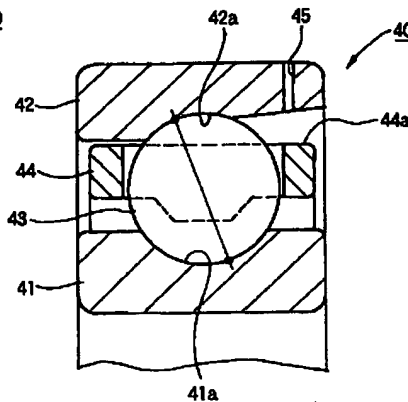
【図 7】



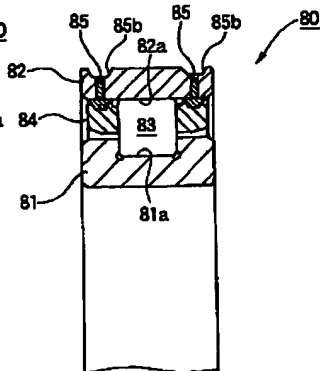
【図 3】



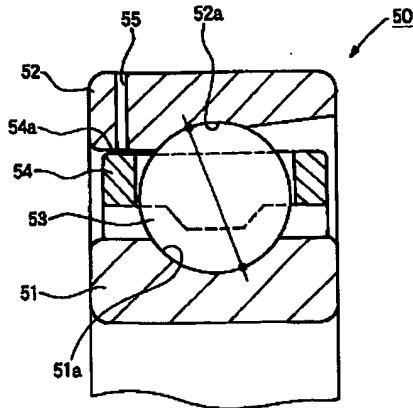
【図 4】



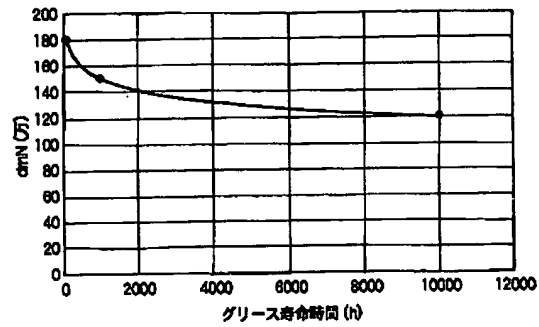
【図 9】



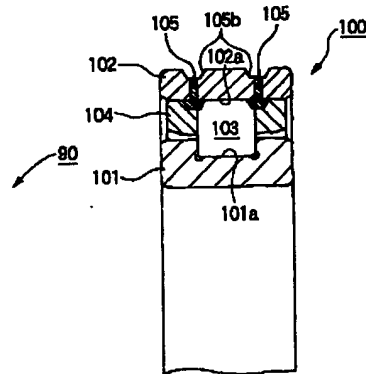
【図5】



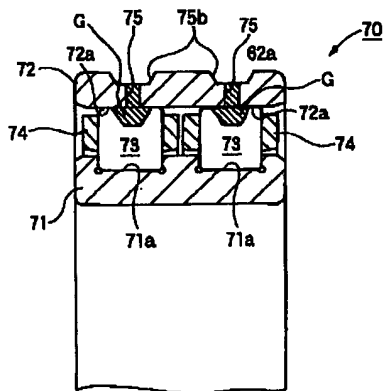
【図6】



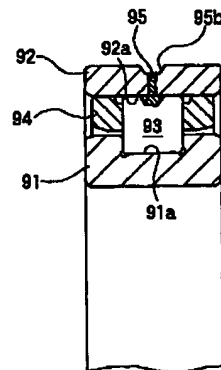
【図11】



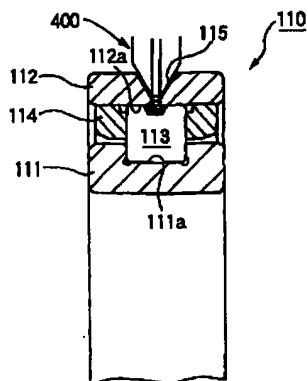
【図8】



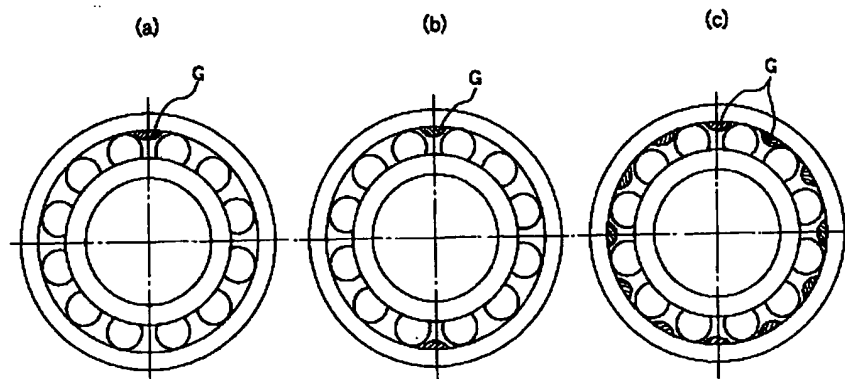
【図10】



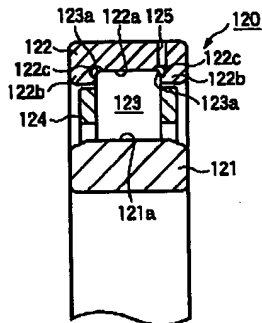
【図12】



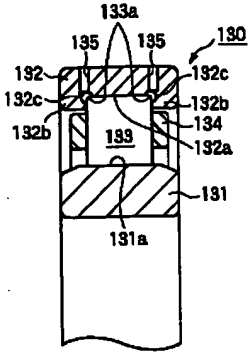
【図13】



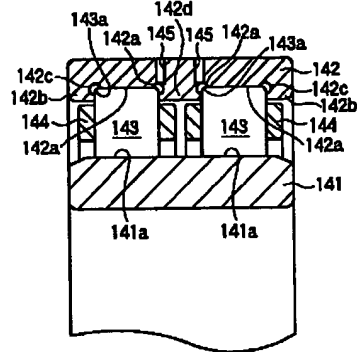
【図14】



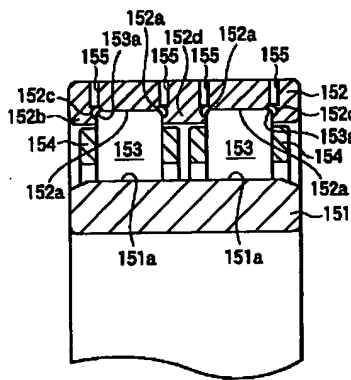
【図15】



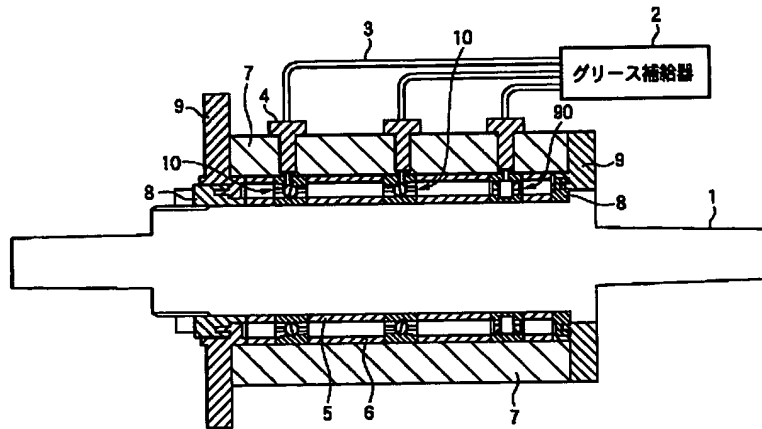
【図16】



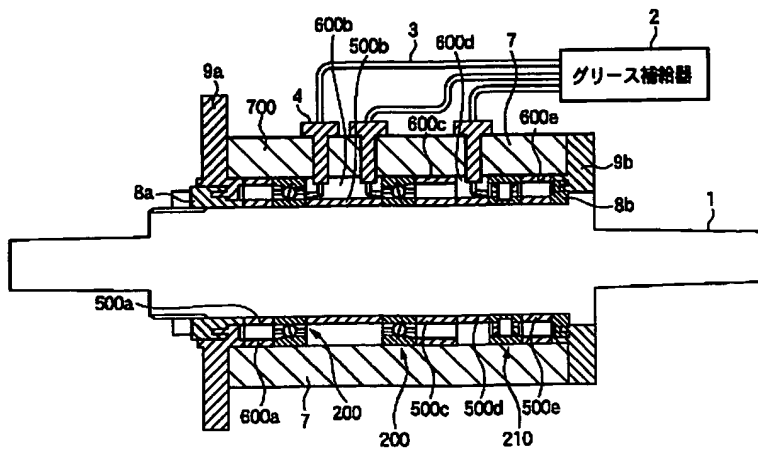
【図17】



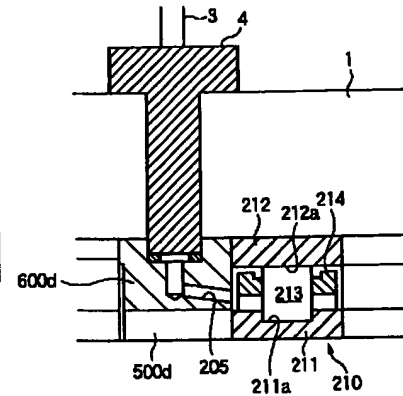
【図18】



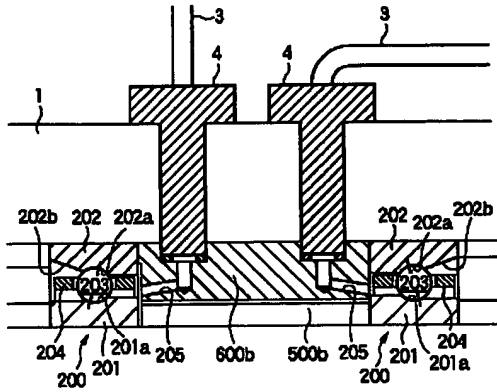
【図19】



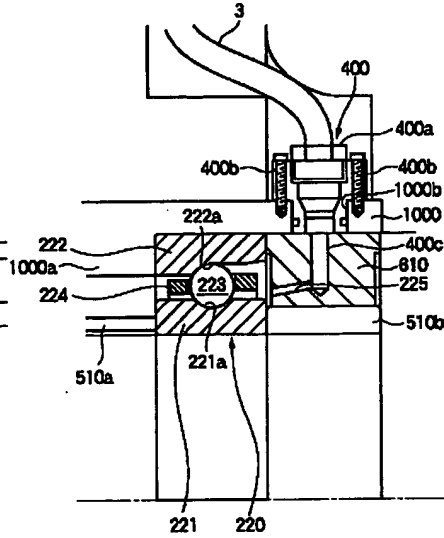
【図21】



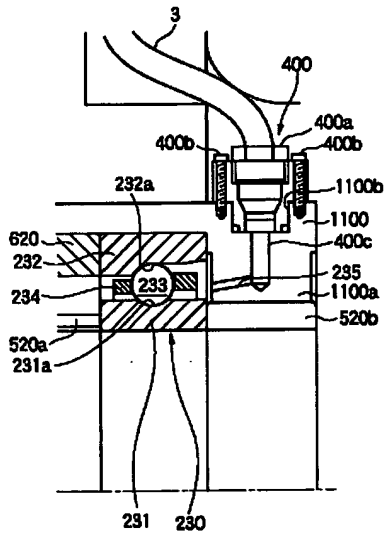
【図20】



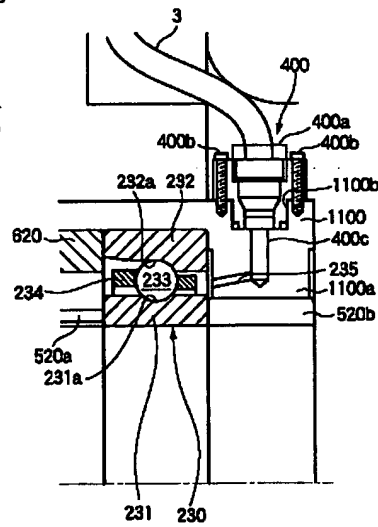
【図22】



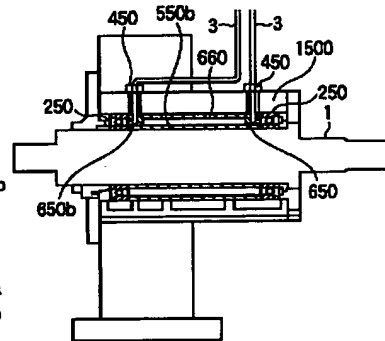
【図23】



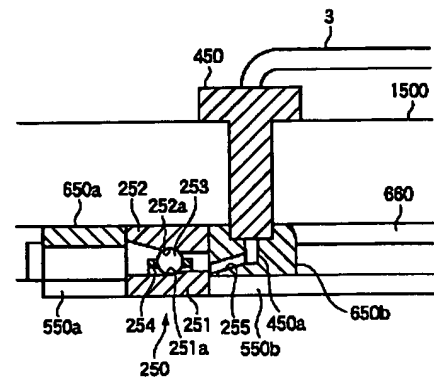
【図24】



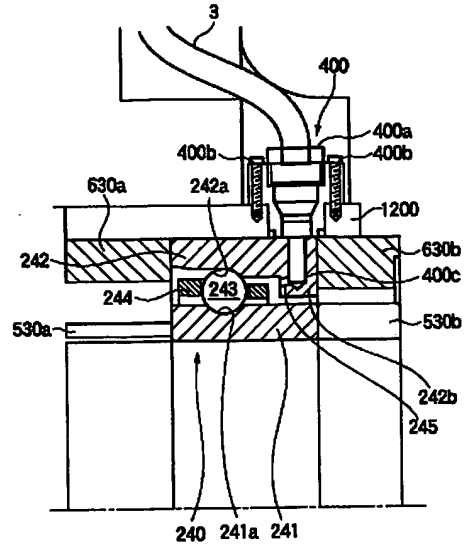
【図27】



【図28】



【圖 26】



Fターム(参考) 3J101 AA02 AA12 AA32 AA42 AA43
AA52 AA54 AA62 BA54 CA08
CA15 CA22 EA63 FA31 FA44
GA31